

# Diseño de un reflectarray de polarización dual para generar haces independientes en las bandas Ku y Ka

Eduardo Martínez de Rioja<sup>(1)</sup>, José A. Encinar<sup>(1)</sup>, Rafael Florencio Díaz<sup>(2)</sup>, Rafael Rodríguez Boix<sup>(2)</sup>

[emartinez@etc.upm.es](mailto:emartinez@etc.upm.es), [jose.encinar@upm.es](mailto:jose.encinar@upm.es), [rflorencio@us.es](mailto:rflorencio@us.es), [boix@us.es](mailto:boix@us.es)

<sup>(1)</sup> Dpto. de Señales, Sistemas y Radiocomunicaciones, Universidad Politécnica de Madrid, ETSI Telecomunicación, Avda. Complutense 30, Madrid

<sup>(2)</sup> Dpto. de Electrónica y Electromagnetismo, Facultad de Física, Universidad de Sevilla, Av. Reina Mercedes, s/n. 41012-Sevilla

**Abstract-** This contribution describes the design of a printed reflectarray antenna for operating at Ku and Ka frequency bands. The reflectarray has been designed to produce a focused beam at 12 and 20 GHz in both H and V polarisations. The reflectarray is fed by a corrugated horn, modelled as a  $\cos^4(\theta)$  function with different q-factor values at 12 and 20 GHz. The reflectarray element is made of two stacked sets of dipoles, each of one comprising two orthogonal subsets of parallel dipoles, whose lengths are adjusted to focus the beam at each polarization and frequency band. The dimensions of all dipoles are calculated for a circular reflectarray of 33 cm diameter, using a MoM-SD based analysis routine and local periodicity approximation. The simulated radiation patterns of the resulting antenna show a gain of 30 dBi at 12 GHz and 33 dBi at 20 GHz, with side-lobe levels close to -20 dB.

## I. INTRODUCCIÓN

Una antena reflectarray consiste en una agrupación, o array, de elementos impresos sobre un sustrato dieléctrico con plano de masa, donde la fase del campo reflejado en cada elemento se ajusta para enfocar o conformar un haz cuando el array se ilumina mediante un alimentador. El ajuste de fase en cada elemento puede realizarse de diferentes formas, siendo una de las más usuales la variación de la longitud resonante de los elementos impresos [1].

Este tipo de antenas se han utilizado para generar haces colimados y conformados; concretamente, se han propuesto antenas reflectarray para aplicaciones como comunicaciones punto-multipunto, radar y satélites de telecomunicaciones. Los reflectarrays cuentan con una serie de ventajas frente a las antenas de tipo reflector parabólico y los arrays, ya que entre otras cosas no requieren de redes formadoras de haz, consiguiendo una importante reducción en las pérdidas óhmicas, así como en costes y complejidad de fabricación. Uno de sus principales inconvenientes, el limitado ancho de banda en que operan, ha sido mejorado sustancialmente mediante el uso de elementos de múltiples capas [2] o dipolos paralelos [3] y procedimientos de optimización en frecuencia [4].

En este artículo se presenta el proceso de diseño de un reflectarray con polarización dual para operar de forma independiente en las bandas de frecuencia Ku (12 GHz) y Ka (20 GHz), con bajos niveles de componente contra-polar. Para ello, se comenzará por el estudio del elemento periódico, o celda del reflectarray, para después seguir con

el diseño independiente para cada polarización y banda de frecuencia, y finalmente evaluar los diagramas de radiación obtenidos y su adecuación a las condiciones impuestas.

## II. ESTUDIO DEL ELEMENTO PERIÓDICO

En la Fig.1, se muestran las celdas unidad de un elemento del reflectarray para polarización H y polarización V. Cada elemento se compone de 3 dipolos en dirección X y 3 en dirección Y, que se repiten en dos capas: A (inferior) y B (superior); el ajuste en la fase del campo reflejado se realizará variando las dimensiones de dichos dipolos. La configuración con dos capas permite obtener un mayor ancho de banda, como ha sido demostrado en [2]. Los dipolos en dirección X permiten controlar la respuesta en fase para la polarización H, mientras que dipolos en dirección Y hacen lo propio con la polarización V. Por otro lado, las dimensiones de los dipolos de la capa inferior determinarán la respuesta a 12 GHz, mientras que los dipolos superiores harán lo propio con la respuesta a 20 GHz, presentando además un tamaño menor al de los anteriores, como puede verse en la Fig.1.

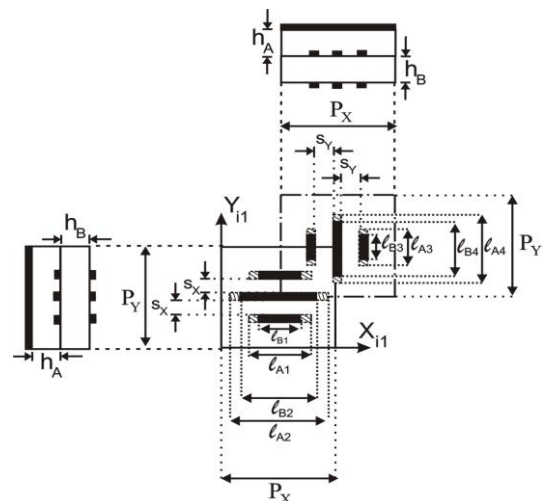


Fig. 1. Vistas superior y lateral del elemento periódico del reflectarray, que incluye una celda para polarización H y otra para polarización V.

Cada celda cuenta con unas dimensiones  $P_X = P_Y = 10$  mm. Los dipolos de la capa A presentan una relación de longitudes de 0.63 entre el dipolo central y los laterales para

cada conjunto de dipolos en dirección X o Y ( $l_{A1} = 0.63 \cdot l_{A2}$ ,  $l_{A3} = 0.63 \cdot l_{A4}$ ). En la capa B, se fija una relación  $l_{B1} = 0.78 \cdot l_{B2}$  para los dipolos en dirección X, y  $l_{B3} = 0.7 \cdot l_{B4}$  para los dipolos en dirección Y. Estas relaciones se han escogido de forma que las curvas de fase sean lo más lineales posible y abarquen un margen de fases suficientemente amplio, por lo que los valores fijados son específicos de este diseño.

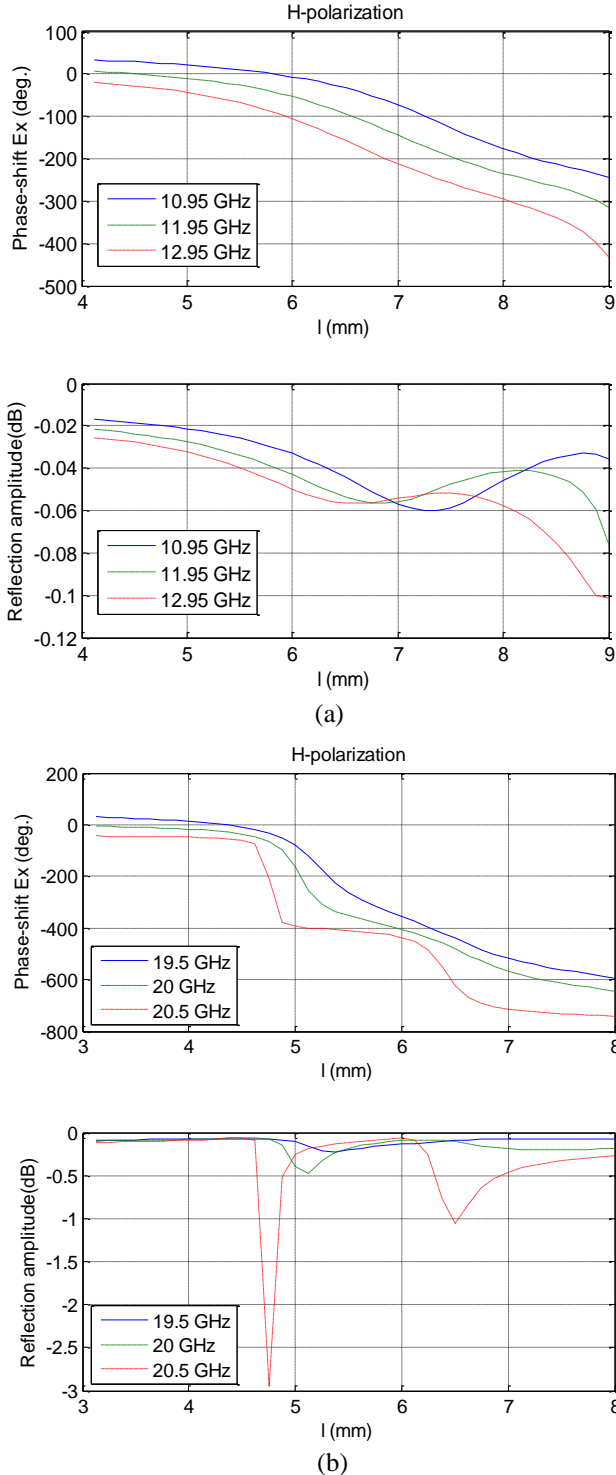


Fig. 2. Magnitud y fase del coeficiente de reflexión co-polar para polarización H. (a) para 12 GHz. (b) para 20 GHz.

Todos los dipolos tienen una anchura de 0.5 mm, los laterales son idénticos y mantienen una separación  $S_X = S_Y = 1.5$  mm de borde a borde con respecto al dipolo central. El

substrato inferior tiene un espesor  $h_A = 2.363$  mm, una constante dieléctrica relativa  $\epsilon_r = 2.55$  y una tangente de pérdidas  $\text{tg}\delta = 0.0022$ ; mientras que el substrato superior cuenta con  $h_B = 1.5$  mm,  $\epsilon_r = 2.17$  y  $\text{tg}\delta = 0.002$ . En la Fig.2 se muestran las curvas de magnitud y fase del coeficiente de reflexión co-polar para incidencia normal y polarización H. La representación se realiza en función de la longitud del dipolo central en dirección X: en la Fig. 2.a, variando los dipolos de la capa inferior y manteniendo fijos los superiores ( $l_{B2} = 4$  mm, con las relaciones indicadas anteriormente para los dipolos laterales) para obtener la respuesta a 12 GHz; mientras que en la Fig. 2.b, se varían los dipolos superiores y se mantienen fijos los inferiores ( $l_{A2} = 8$  mm) para obtener la respuesta a 20 GHz. Como se puede comprobar, las curvas de fase presentan una transición más suave en la respuesta a 12 GHz que en la de 20 GHz, deteriorándose algo más para el caso de 20.5 GHz.

Las gráficas de incidencia normal de la Fig.2 se emplean únicamente como herramienta para la caracterización del elemento periódico. En el proceso de diseño posterior, se tiene en cuenta el ángulo de incidencia real en cada elemento, que en la parte central del reflectarray se encuentra entre  $10^\circ$  y  $20^\circ$ . Este cambio en el ángulo de incidencia tiene como efecto una ligera variación en las curvas de fase mostradas en las gráficas de la Fig. 2.

Las simulaciones realizadas ponen de manifiesto que el comportamiento de las curvas de fase es bastante independiente de las longitudes de los dipolos ortogonales situados en una misma capa, pero puede verse ligeramente alterado en función de las longitudes de los dipolos paralelos situados en la capa superior o inferior, según sea el caso, y como ya se ha comentado, por el ángulo de incidencia del campo sobre cada elemento. El diseño del reflectarray se realizará a la frecuencia central de cada banda, por lo que los resultados obtenidos parecen bastante adecuados, ya que se consiguen variaciones de fase de  $300^\circ$ - $400^\circ$  en un rango de longitudes aceptable.

### III. DISEÑO A DOS FRECUENCIAS

Se ha diseñado el reflectarray para producir un haz de 30 dBi de ganancia a 12 GHz y otro de 33 dBi a 20 GHz, tanto en polarización H como en polarización V. Como alimentador se ha supuesto una bocina corrugada, cuyo diagrama de radiación se ha modelado siguiendo una distribución de tipo  $\cos^q(\theta)$ , con un factor de  $q=26$  para 12 GHz y  $q=50$  para 20 GHz. En la Fig. 3 se muestra como se realizaría la iluminación del reflectarray mediante dicha bocina. La posición del alimentador se define mediante las coordenadas en mm de su centro de fase con respecto al centro del reflectarray, siendo para el caso que nos ocupa de  $(-192.3, 0, 627.4)$ . El nivel de iluminación en los bordes toma un valor típico de -10 dB a 12 GHz y -12 dB para 20 GHz, buscando un compromiso entre las eficiencias de iluminación y *spillover* que permita maximizar la ganancia de la antenna. Reducir el nivel de iluminación en los bordes conduce a un menor nivel de lóbulos secundarios, pero también a una pérdida de ganancia.

El reflectarray se diseña para que el haz radie en la dirección de  $13^\circ$  con respecto al eje Z para polarización H, y de  $20^\circ$  con respecto al eje Z para polarización V, tanto a 12 como a 20 GHz. Para lograr dicho objetivo, el reflectarray debe introducir las distribuciones de fase mostradas en la Fig.

4.a y la Fig. 4.b para las polarizaciones H y V a 12 GHz (con el campo eléctrico en la dirección del eje X y en la del eje Y, respectivamente), y las mostradas en la Fig. 4.c y la Fig. 4.d para las polarizaciones H y V a 20 GHz.

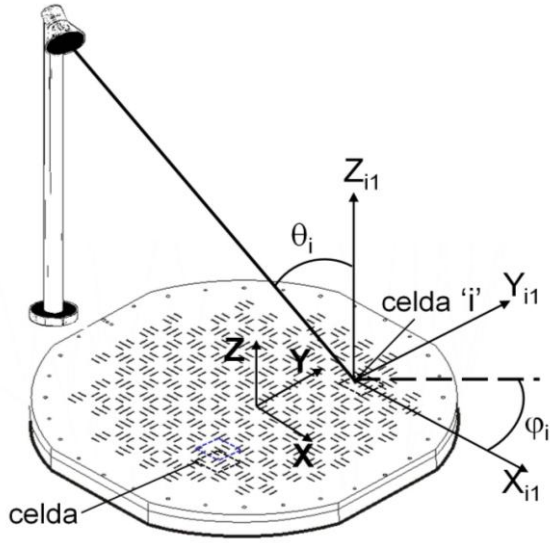


Fig. 3. Antena reflectarray con bocina alimentadora y sistema de coordenadas de referencia.

El desfase requerido en cada elemento del reflectarray para cada una de las polarizaciones, se obtendrá ajustando por separado las dimensiones de los dos subconjuntos ortogonales de dipolos situados en cada capa. Los dipolos de

la capa inferior presentarán una longitud mayor que los de la capa superior (el rango de valores que puede tomar el dipolo central se encuentra entre 6 y 9 mm para la capa A, y entre 3 y 6 mm para la capa B), de manera que a 12 GHz los dipolos del plano superior no afectarán apenas a la respuesta de los dipolos inferiores, mientras que a 20 GHz los dipolos de la capa de abajo se comportarán como plano de masa de los dipolos superiores. Mediante este procedimiento se consigue diseñar de forma prácticamente independiente para las dos bandas de frecuencia.

La razón de generar una distribución de fases con valores próximos a  $-360^\circ$  en el centro del reflectarray se debe a que a dichos elementos les corresponderán los dipolos más largos, según la variación de las curvas de fase mostradas anteriormente en la Fig. 2. El diseño se optimizará para que los errores en la zona más iluminada (correspondiente a ángulos de incidencia entre  $\theta_i=10^\circ$  y  $\theta_i=20^\circ$ ) sean muy pequeños, afectando así en menor medida al diagrama de radiación de la antena.

Para realizar el ajuste de longitudes se sigue un procedimiento iterativo que llama a una rutina de análisis, tal como se describe en [4] y [5]. La rutina de análisis se basa en la utilización del Método de los Momentos en dominio espectral (MoM-SD) y en la aproximación de periodicidad local, en donde cada elemento se analiza teniendo en cuenta el ángulo de incidencia  $\theta_i$  y suponiendo que se encuentra en un entorno periódico. Esta técnica ha demostrado ser muy eficiente y exacta. El software empleado ya fue utilizado previamente para realizar el diseño de un reflectarray de dos capas con cuatro dipolos para cada polarización (3+1), y validado con la construcción de un demostrador [3].

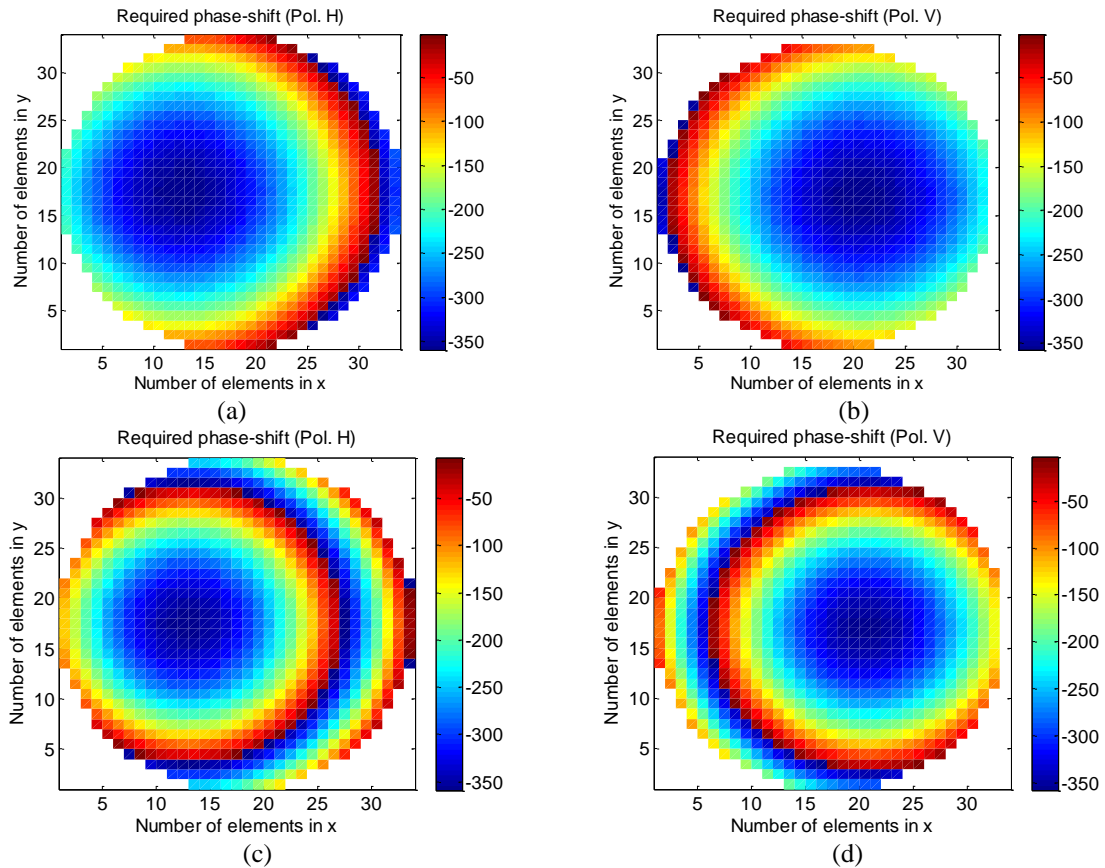


Fig. 4. Distribución de fase que debe introducir el reflectarray. (a) a 12 GHz en polarización H. (b) a 12 GHz en polarización V. (c) a 20 GHz en polarización H. (d) a 20 GHz en polarización V.

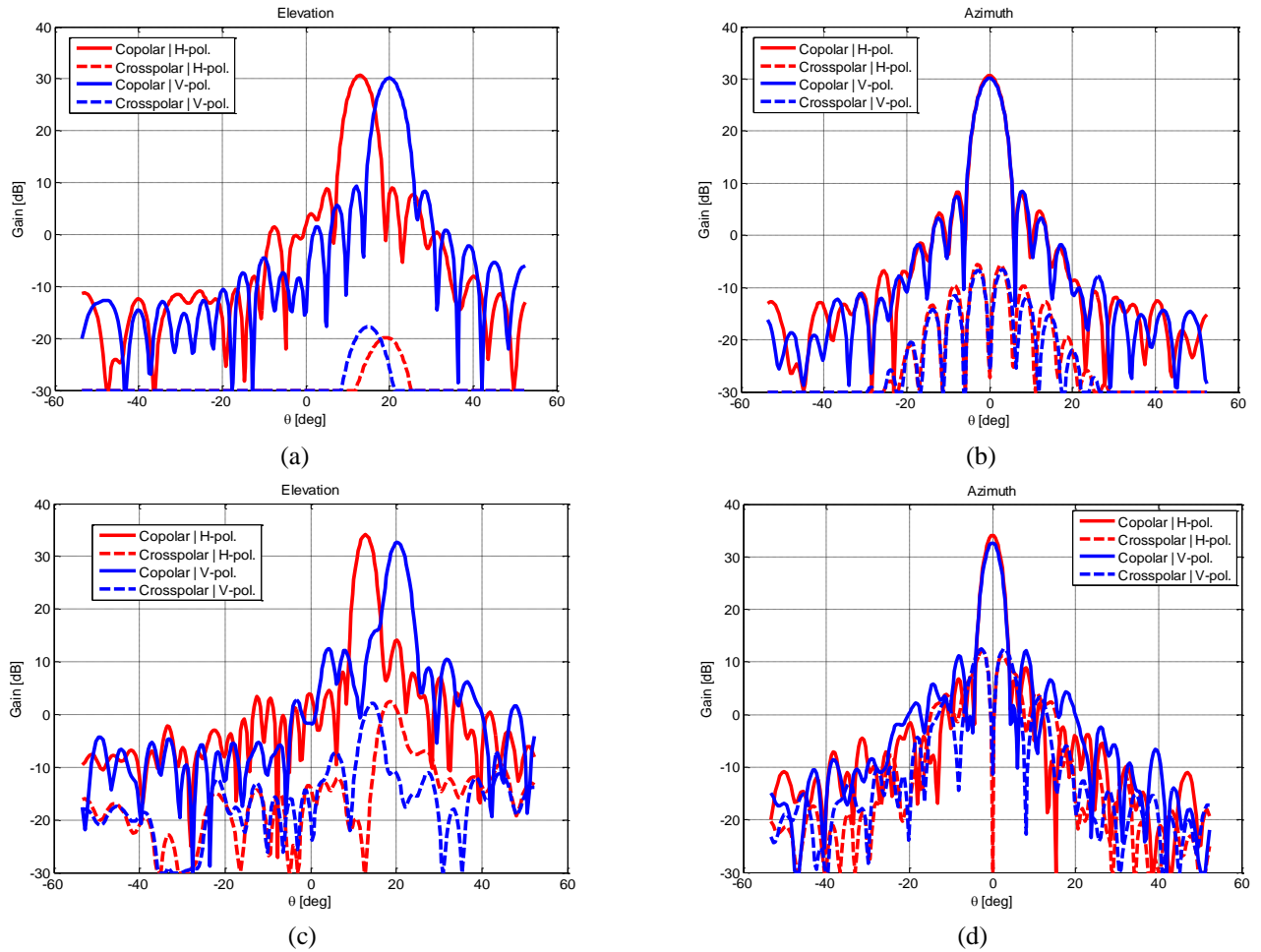


Fig. 5 Diagramas obtenidos en los planos principales. (a) Plano XZ a 12 GHz, (b) Plano perpendicular al XZ formando 20° con el eje Z. (c) Plano XZ a 20 GHz, (d) Plano perpendicular al XZ formando 20° con el eje Z.

#### IV. RESULTADOS

Los diagramas de radiación en ganancia (dB) para los planos principales pueden verse en la Fig. 5.a y la Fig. 5.b a la frecuencia central de 12 GHz, y en la Fig. 5.c y la Fig. 5.d, a la otra frecuencia central de 20 GHz. En cada uno de ellos se incluyen las componentes co-polar y contra-polar para las polarizaciones H y V. Se puede observar que se consigue una ganancia de 30 dB a 12 GHz y de unos 32-34 dB a 20 GHz. Las direcciones de apuntamiento de los haces en polarización V y H son de 13° y 20°, respectivamente, tal como se había pretendido. El nivel de los lóbulos secundarios es mayor a 20 GHz que a 12 GHz, pero aún así se obtienen valores en torno a 20 dB por debajo del máximo de radiación.

Las simulaciones realizadas tienen en cuenta la mayor parte de las pérdidas que se producen, como las debidas al *spillover*, la iluminación y las pérdidas en dieléctricos. La eficiencia de radiación de la antena puede estimarse en torno al 68% para 12 GHz y al 54% para 20 GHz.

#### V. CONCLUSIONES

Se ha diseñado un reflectarray de 33 cm de diámetro para funcionar en las bandas Ku y Ka, con polarización dual H y V. Los diagramas de radiación obtenidos muestran un comportamiento bastante bueno, con una ganancia de 30 dBi a 12 GHz y 33 dBi a 20 GHz. Estos resultados muestran la capacidad de las antenas reflectarray para poder trabajar en dos bandas de frecuencia, con un conformado del haz independiente para cada banda y polarización.

Entre los próximos pasos que se piensan llevar a cabo, se encuentra la fabricación y medida de un prototipo que permita corroborar los resultados obtenidos mediante las simulaciones. También se están estudiando posibles mejoras del diseño presentado, como la utilización en la capa inferior de cinco dipolos para cada polarización, en lugar de tres, con el objetivo de lograr una mayor linealidad en las curvas de fase a 20 GHz.

#### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad de España mediante el proyecto TEC2013-43345-P.

#### REFERENCIAS

- [1] D. M. Pozar, T. Metzler, "Analysis of a Reflectarray Antenna Using Microstrip Patches of Variable Size", *Electronic Letters*, Vol. 29, No. 8, pp. 657-658, 15th April 1993.
- [2] J. A. Encinar, "Design of Two-Layer Printed Reflectarrays Using Patches of Variable Size", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 49, No. 10, pp. 1403-1410, October 2001.
- [3] R. Florencio, J. A. Encinar, R. R. Boix, V. Losada, G. Toso, "Reflectarray Antennas for Dual Polarization and Broadband Telecom Satellite Applications," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Special Issue on Space Antennas, Vol. 63, pp. 1234-1246, April 2015.
- [4] J. A. Encinar, J. A. Zornoza, "Broadband Design of Three-Layer Printed Reflectarrays," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 51, No. 7, pp. 1662-1664, July 2003.
- [5] J. A. Encinar, et al. "Dual-Polarization Dual-Coverage Reflectarray for Space Applications", *IEEE Trans. on Antennas and Propag.*, vol. 54, pp. 2827-2837, Oct. 2006.